

Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía

Renewable Energy in Colombia: An Approach from the Economy

Energias renováveis na Colômbia: Uma aproximação desde a economia

DOI rces.v25n38.a7

Recibido: 17/04/2017

Aceptado: 18/06/2017

Simón Cortés

Estudiante de Economía. Universidad Pontificia Bolivariana
Correo electrónico: simon.cortes12@gmail.com

Adriana Arango Londoño

Ingeniera electrónica. Magíster en Ingeniería Administrativa.
Correo electrónico: adriana.arangol@upb.edu.co
Docente asociado. Miembro del Grupo de Investigación en Portafolios,
Programas y Proyectos (GIP3). Universidad Pontificia Bolivariana.

Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía

Resumen

La energía es indispensable para el desarrollo económico de un país. El rápido crecimiento demográfico, la expansión del sector industrial, el acelerado crecimiento tecnológico, entre otros factores, han incrementado la demanda de energía, y, en consecuencia, el sistema eléctrico es cada vez más susceptible de no satisfacer el consumo de energía; además, la generación de energía, a partir de fuentes no renovables como los combustibles fósiles, impactan negativamente al medio ambiente. Por el contrario, la generación a partir de fuentes renovables soluciona la problemática ambiental y permite diversificar la matriz energética. Colombia posee gran variedad de recursos naturales. La mayor cantidad de energía generada en el país corresponde a fuentes renovables, principalmente a partir de hidroeléctricas. Es así como las energías renovables juegan un papel fundamental en la economía de Colombia. Resulta de sumo interés estudiar el impacto de la energía sobre la economía, revisando los principales aportes académicos para países de América Latina, y realizando especial énfasis en la economía de Colombia. Se emplea un modelo VAR para cuantificar el impacto de las variables energéticas (demanda y precio de la energía) sobre el PIB de Colombia.

Palabras clave

Fuente de energía renovable, economía, energías renovables, Colombia.

Clasificación JEL: C51, M10, M21

Renewable Energy in Colombia: An Approach from the Economy

Abstract

Energy is indispensable for the economic development of a country. Rapid demographic growth, expansion of the industrial sector, accelerated technological growth, amongst other factors, have increased the demand of energy and, thus, the electric system has become less likely to satisfy energy consumption. In addition, energy generated by non-renewable resources, such as fossil fuels, have a negative impact on the environment. On the other hand, energy generated by renewable resources solves the environmental issue and makes it possible to diversify the energy matrix. Colombia has a wide variety of natural resources; most of the energy generated in the country comes from renewable resources, mainly from hydroelectric plants. Therefore, renewable energy plays a fundamental role in the Colombian economy; and it is of utmost interest to study the impact energy has on the economy by reviewing the main academic contributions from Latin American countries with an emphasis on the Colombian economy. A VAR model is used to quantify the impact of the energy variables (demand and energy price) on the Colombian GDP.

Keywords

Renewable energy source, economy, renewable energy, Colombia.

Energias renováveis na Colômbia: Uma aproximação desde a economia

Resumo

A energia é indispensável para o desenvolvimento econômico de um país. O rápido crescimento demográfico, a expansão do setor industrial, o acelerado crescimento tecnológico, entre outros fatores, há incrementado a demanda de energia e por consequência o sistema elétrico é cada vez mais suscetível de não satisfazer o consumo de energia; ademais a geração de energia a partir de fontes não renováveis como os combustíveis fósseis impactam negativamente no meio ambiente. Ao contrário, a geração a partir de fontes renováveis soluciona a problemática ambiental e permite diversificar a matriz energética. A Colômbia possui grande variedade de recursos naturais, a maior quantidade de energia gerada no país corresponde a fontes renováveis, principalmente energia a partir de hidroelétricas. E é assim como as energias renováveis jogam um papel fundamental na economia da Colômbia e resulta de grande interesse estudar o impacto da energia sobre a economia, revisando os principais aportes acadêmicos para países da América Latina e realizando especial ênfase na economia da Colômbia. Se emprega um modelo VAR para quantificar o impacto das variáveis energéticas (Demanda e preço da energia) sobre o PIB da Colômbia.

Palavras-chave

Fonte de energia renovável, economia, energias renováveis, Colômbia.

Introducción

El sistema eléctrico es fundamental para el desarrollo socioeconómico de un país, se encuentra presente en toda la cadena de producción, distribución y uso final de bienes y servicios (Pompemayer, 2009). El crecimiento demográfico, acompañado del acelerado proceso de industrialización, han intensificado la demanda energética mundial, especialmente los países donde las actividades de baja intensidad energética, como la agricultura, se han trasladado a las de uso intensivo de energía, como la construcción y la industria (Castro, 2011). Además, los avances tecnológicos han causado un incremento en la demanda energética, ya que todos los dispositivos, desarrollados en las últimas décadas, requieren de energía eléctrica para su funcionamiento. Es así como la energía desempeña un papel importante en la economía de un país, ya que es el insumo fundamental para el sector industrial y de servicios.

Por otro lado, el tipo de energía utilizada por el sistema define la matriz energética, la cual se conforma a través de sus fuentes de generación que pueden ser: renovables y no renovables. Las fuentes no renovables se caracterizan por ser finitas, un ejemplo de estas son los hidrocarburos; por el contrario, las fuentes renovables son recursos que se renuevan, entre las que se encuentran el sol, el viento, el agua, entre otras. El agotamiento de las energías no renovables (gas natural, carbón, petróleo y energía nuclear) y el impacto que tiene su explotación para el medio ambiente han incrementado el interés en la diversificación de la matriz energética, mediante la incorporación de energías renovables en el sistema eléctrico. Entre las principales ventajas de las energías renovables se destacan su naturaleza inagotable, renovable y su utilización libre de polución (Rodríguez, 2009).

Las energías renovables resultan atractivas para los sistemas eléctricos de países que cuentan con las condiciones naturales e idóneas para su incorporación, estas son la radiación solar, fuentes hídricas o potencial eólico; recursos que se encuentran en varios países de Centro y Sur América. Colombia es un país que cuenta con gran cantidad de recursos naturales, lo que le ha permitido obtener energía a partir de fuentes renovables; sin embargo, el mayor recurso de generación es hídrico lo que hace que el sistema sea vulnerable a eventos extremos como el fenómeno del Niño. No obstante, existen pequeños proyectos energéticos en generación eólica y solar, e iniciativas por parte de organismos gubernamentales y empresas del sector para impulsar la generación a partir de fuentes renovables. En tal sentido, resulta de sumo interés el estudio de los principales aportes realizados por la comunidad académica, en el tema de energías renovables en América Latina, particularmente en Colombia.

1. Energías renovables: contexto latinoamericano

El acceso a las energías renovables representa un valor central para la sostenibilidad ambiental, que en el largo plazo preserva la vida humana, facilita la obtención de sociedades más inclusivas y equitativas en un horizonte de tiempo mucho más cercano (Pelfini, Fulget, & Beling, 2012). Es así como las energías renovables tienen vital importancia en el plan de desarrollo de los países. En América Latina algunos países han optado por las energías renovables en sus matrices energéticas, teniendo en cuenta que la gran parte de la región cuenta con las condiciones naturales para realizar proyectos en energías renovables.

Las energías renovables son fundamentales para el desarrollo humano y económico de un país, su incorporación puede solucionar el problema del suministro de energía eléctrica en zonas no interconectadas; por ejemplo, la energía solar es una opción muy atractiva para atender la demanda en zonas apartadas, como las comunidades rurales. Además, la elección en energías renovables mejora la seguridad energética de un país, diversificando la matriz nacional, y limitando el aumento de importaciones de combustibles extranjeros (Coviello, Gollán, & Pérez, 2012).

Países como México han tomado la decisión de incorporar energías renovables en su matriz energética, con proyectos de generación eólica. Gracias a sus condiciones ambientales, caracterizadas por la presencia de fuertes vientos cuya velocidad promedio anual fluctúa entre los 20 y 25 metros por segundo, se presenta como una de las regiones con mayor potencial generador de energía eólica en el mundo (Orozco, 2008). Con el fin de aprovechar el potencial energético eólico, México construyó el complejo eólico de Oaxaca que, considerado el más grande de América Latina, inició su operación en el año 2011, y lo conforman tres parques eólicos: Oaxaca II, Oaxaca III y Oaxaca IV. El complejo eólico de Oaxaca es uno de los proyectos más grandes de energía eólica del planeta, el cual contó con la participación del sector público y privado (Howe, Boyer, & Barrera, 2015).

Asimismo, Argentina estructuró su matriz energética incorporando energías más limpias con proyectos en generación eólica, ya que este país tiene una alta dependencia energética en hidrocarburos, los cuales se caracterizan por ser limitados e impactar negativamente al medio ambiente por su efecto contaminante. Teniendo en cuenta lo anterior, en Argentina se comienza a aprovechar el alto potencial natural que posee el área de la Patagonia para producir energía a partir del viento, y para el año 2013

se tienen construidos 17 parques eólicos, los cuales representan un porcentaje menor al 1% de su matriz energética, en la cual predominan los combustibles fósiles (Freier, 2014).

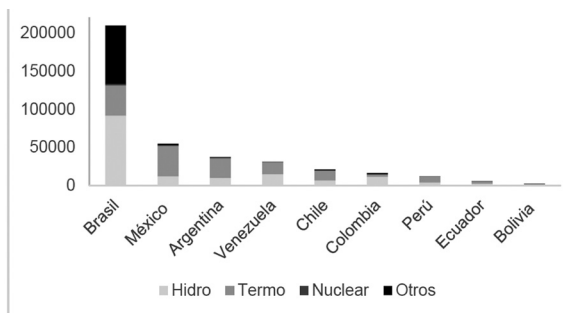
Por otro lado, Brasil tiene una matriz energética más diversificada, ya que cuenta con recursos energéticos basados en hidrocarburos, energía nuclear y recursos renovables. Adicionalmente, cuenta con la hidroeléctrica más grande de América Latina, Itaipú, la cual se encuentra ubicada entre Paraguay y Brasil, tiene una potencia instalada de 14.000 MW, se sitúa como la segunda mayor del mundo y para el año 2015 suministró el 17,3% de la energía consumida en Brasil (Mourón & Onuki, 2015). Adicionalmente, Brasil tiene gran diversidad de recursos naturales, su gran extensión con alta radiación solar le permiten aprovechar el potencial en energía solar, pero las barreras políticas y altos costos no han permitido la explotación de este recurso; y para el caso de energía eólica en el año 2013 contaba con 73 plantas instaladas, 26 en construcción y 103 proyectos de generación eólica (Pottmeier, 2012). Gracias a las iniciativas y apoyo por parte del estado, Brasil ocupó el tercer puesto en generación con energías renovables.

Los proyectos en energías renovables se han convertido en una prioridad para América Latina debido a los retos energéticos como: la demanda poblacional, la alta dependencia de combustibles fósiles y el cambio climático (Jacobs et al., 2013). Con el fin de solucionar esta problemática se han venido desarrollando proyectos de inversión en energías renovables en diferentes países de la región, ya que cuenta con recursos naturales que la convierten en un lugar idóneo para realizar proyectos de inversión, especialmente los relacionados con centrales hidroeléctricas.

El poder hídrico es considerado una de las fuentes más confiables ya que garantizan la estabilidad de

los precios y la provisión confiable de energía (Taylor 2006). Esto se debe en parte a la disponibilidad del agua en cataratas, ríos y represas, las cuales permiten almacenar grandes cantidades del recurso. Adicionalmente, las centrales hídricas hacen parte de las energías renovables; se aprovecha el recurso del agua y su potencial de generación es alto. Dada la abundancia de agua y las condiciones naturales que poseen varios países de América Latina, se han desarrollado proyectos en centrales hídricas, siendo el componente de mayor participación dentro de la matriz energética para países, como se presenta en la Figura 1. Además, se concluye que el país con mayor capacidad instalada es Brasil, seguido de México y Argentina; el segundo recurso de generación se ofrece a través de centrales térmicas, siendo el componente más representativo en países como México, Argentina y Chile; los países que generan energía nuclear son Brasil, México y Argentina y todos los países tienen algunos proyectos de generación en energías renovables (que se encuentran en la categoría de "otros"), pero el porcentaje de generación es muy bajo (21,06%).

Figura 1: Capacidad instalada para el año 2015.



Fuente: Elaboración propia con información de OLADE (2016).

En conclusión, América Latina tiene un gran potencial de aprovechamiento de energías renovables, lo que representa un desafío para los entes gubernamen-

tales. Las oportunidades que se tienen radican en la disponibilidad de los recursos naturales, y sus barreras son de carácter técnico, financiero y político. En primer lugar, las barreras técnicas se presentan en la intermitencia y disponibilidad en su captación, la distancia entre producción y consumo, y las dificultades de su almacenamiento (Posso & Sánchez, 2014). Las barreras financieras se dan en los recursos destinados para los proyectos de generación, ya que los costos son altos debido a las tecnologías que deben adoptarse y los recursos financieros son limitados para la innovación; las barreras políticas se presentan en los marcos legales y regulatorios para incentivar las inversiones en energías renovables (CEPAL, 2013). Existe un interés en incorporar energías renovables en las matrices energéticas de los países de la región, con el fin de diversificar los recursos de generación; lo cual se traduce en beneficios para los habitantes al contar con una mejor disponibilidad de la energía, en las comunidades interconectadas al contar con el recurso energético y en el medio ambiente al preservar su conservación y disminuir los efectos contaminantes producidos por la generación a partir de combustibles fósiles.

2. Sistema eléctrico en Colombia

La generación de energía en Colombia es uno de los pilares de desarrollo económico; así lo señaló el estudio de competitividad global de energía 2012, realizado por el instituto Choiseul y Kpmg. Este estudio destaca el potencial que tiene la generación de energía eléctrica en el país y la cataloga como una de las más competitivas a nivel mundial, concluye que el sector eléctrico es de alta calidad, confiable y respetuoso con el medio ambiente.

La energía, evidentemente, es el pilar del desarrollo de los procesos productivos, del progreso social de los países y elemento fundamental del avance tecnológico mundial (Castillo, 2015). Es así como los proyectos de generación en el sistema eléctrico en Colombia no solo impulsan el desarrollo sostenible, aprovechando las ventajas que geográficamente abundan, sino que también benefician la población que carece de estos servicios, como son las zonas no interconectadas.

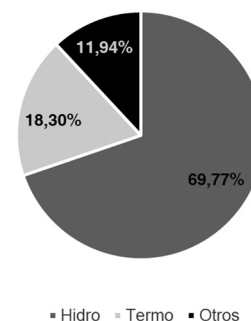
La demanda de electricidad en Colombia ha venido creciendo desde el año 2001 con tasas que oscilan entre el 1,5% y el 4,1% anual, para una demanda total de electricidad de 60,89 TWh en el año 2013. La demanda mensual de electricidad presenta un patrón cíclico anual con un mínimo en el mes de febrero. De acuerdo con el plan de expansión de generación 2015-2019, publicado por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), se encontró que se requieren entre 4.208 y 6.675 megavatios de expansión para la próxima década. Con el fin de suplir la demanda nacional, se proyecta la ampliación de la matriz energética formulando escenarios que incorporan las fuentes renovables, no convencionales, como la producción eólica, ubicada principalmente en la Guajira (UPME, 2017). Es así como en Colombia se impulsa la incorporación de energías limpias, aprovechando los recursos naturales y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero. Este esquema ya ha sido incorporado en países europeos, como en Noruega donde las energías renovables componen un 65,5% de la capacidad de generación de energía, según el último estudio de la organización REN21.

Como se mencionó en el capítulo anterior, en algunos países de América Latina se han venido desarrollando proyectos de generación de energías renovables, gracias a los avances tecnológicos y de bajo impacto con el medio ambiente. De esta forma se abastece el sistema eléctrico, de tal manera que se suple la

demanda de energía y se disminuyen los índices de contaminación. La generación hidroeléctrica es la más representativa en países de la región, permitiendo que Latinoamérica sostenga la matriz eléctrica más verde del mundo (Banco Interamericano de Desarrollo, 2016). Particularmente, Colombia posee una capacidad instalada de aproximadamente 16.000 MW de los cuales el 69,77% se genera a partir de centrales hídricas, el 18,30% corresponde a centrales térmicas y el 11,94% a otras fuentes de energía renovable como la eólica. En la Figura 2 se presenta la capacidad instalada en Colombia para generación eléctrica por tipo de planta hasta el año 2016.

Figura 2: Capacidad instalada para generación eléctrica en Colombia.

Capacidad instalada



Fuente: Elaboración propia con información de OLADE (2016).

El sistema eléctrico colombiano tiene como principal fuente de generación la energía hidráulica, que en 2014 alcanzó una producción de 44.734,11 GWh, seguido por energía térmica con un total de 19.043,64 GWh; y otros cogeneradores y generadores menores con un total de 549,89 GWh (XM, 2016). A causa de la alta dependencia del sistema eléctrico al recurso hídrico, el país enfrenta dificultades ante periodos de sequía caracterizados por el fenómeno del Niño, lo

que representa un riesgo para el sistema, ya que la demanda se traslada a las centrales térmicas, las cuales operan al máximo de su capacidad. Consecuentemente, el sistema eléctrico colombiano es muy sensible a cambios climáticos y requiere diversificar su matriz energética, mediante la incorporación de energías renovables y otros proyectos de inversión en los que se aproveche la diversidad de recursos naturales pertenecientes en la región. Una de las principales iniciativas es la hidroeléctrica Ituango, ubicada en el departamento de Antioquia, ocupa algunos predios de los municipios de Briceño, Ituango y Toledo y se espera que su producción sea de 2.400 MW de energía (Ríos & Vélez, 2015).

Adicionalmente, Colombia cuenta con el Parque Eólico de Jepirachi, el cual se encuentra instalado en cercanías del Cabo de La Vela en la Guajira. El parque fue instalado por las Empresas Públicas de Medellín y opera desde abril de 2004. Durante los primeros 15 meses de operación, el parque alimentó a la red eléctrica 70.4 GWh representando un factor de planta global de un 38% con una disponibilidad del 96% (Pini-lla, Rodríguez, & Trujillo, 2009). Asimismo, empresas como Celsia dan un paso hacia la generación solar con el proyecto de la construcción de la granja solar Yumbo; un proyecto de 9,9 MW, conformado por 35.000 paneles solares en un terreno de 18 hectáreas en el municipio de Yumbo, Valle del Cauca (Suroccidente de Colombia), que generará aproximadamente 16 GWh al año (Límpia, 2017). Colombia es un país con gran diversidad de recursos energéticos que lo convierten en una región privilegiada para explorar energías renovables; esta oportunidad le permite diversificar su matriz energética con el fin de mejorar la calidad de vida de la población, reducir la contaminación, ofrecer energía en zonas no interconectadas y garantizar la disponibilidad de la energía ya que es fundamental para la economía.

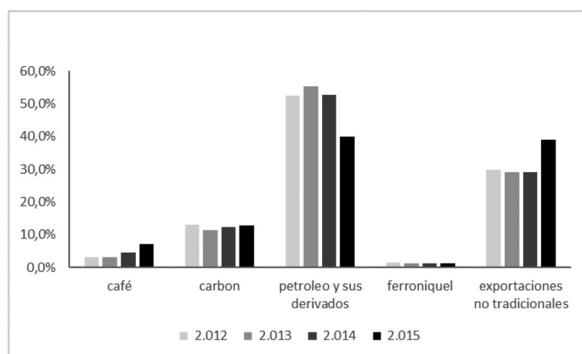
La generación eléctrica a nivel nacional está destinada a ser usada como motor de la economía por la dependencia que tiene sobre la productividad del país, su relación es directamente proporcional; el aumento en la producción hace que el consumo de energía se incremente sustancialmente. Los países más sensibles, ante cambios en el consumo de energía de forma relativa, son Panamá y Bolivia (Barreto & Campo, 2012). A su vez, Colombia, Paraguay, Brasil y Ecuador presentan los coeficientes asociados al consumo de energía más bajos de la región, lo que muestra una menor sensibilidad, en términos relativos, a los otros factores de producción (Campo & Sarmiento, 2011). Adicionalmente, el sector minero energético juega un papel fundamental en la economía colombiana, ya que la principal fuente de ingreso son las exportaciones de este sector, representando una reducción del 54% del total de las exportaciones para el año 2015. Este decremento en las exportaciones, que a su vez afecta directamente la renta fiscal, se explica principalmente por el bajo precio del barril de petróleo y el aumento de los precios en las materias primas.

Las exportaciones convencionales en Colombia tienen en cuenta las ventas de café, carbón, ferróníquel, petróleo y sus derivados; por ende, existe una dependencia hacia la producción de materias primas, especialmente las provenientes del sector minero-energético. El sector minero-energético representa un papel importante en el PIB (Producto Interno Bruto de Colombia), en las cuentas fiscales y en las exportaciones; durante la presente crisis financiera mundial ha sido uno de los sectores que más ha contribuido a evitar una severa contracción del nivel de la actividad interna (UPME, 2017).

La distribución de las exportaciones en Colombia se han basado en un poco más del 50% por exportaciones tradicionales que se han sostenido desde varios años atrás. La Figura 3 muestra la constitución de las

exportaciones en Colombia enfocada principalmente en sus sectores más tradicionales de exportación, evidenciando la alta dependencia de la explotación minero-energética.

Figura 3. Exportaciones en Colombia periodo 2012-2015.



Fuente: Elaboración propia a partir de información del DANE.

En Colombia el sector minero es uno de los más importantes, gracias al aporte que entrega a la renta nacional, lo que representa una desventaja, ya que la economía se ve afectada ante crisis energéticas y es sensible a cambios en el sector minero energético. Esto se explica en parte por los pocos avances en materia tecnológica y al aporte de valor agregado que se le dan a estos productos, los cuales son los de mayor exportación en el país. Además, se presentan dificultades por la alta dependencia de la extracción de material minero-energético y el gran impacto para el medio ambiente que representa la explotación de los recursos naturales.

Por otro lado, teniendo en cuenta que un país como Colombia es favorecido por sus recursos naturales que permiten la incorporación de energías alternativas como las plantas solares y eólicas, el gobierno ha impulsado iniciativas para estimular los proyectos en energías limpias. Con la ley 1715 de 2014 se reduce

la carga tributaria para los proyectos de generación con energías renovables (UPME, 2014). Esta iniciativa reduce los costos de inversión en los proyectos de generación, los cuales a largo plazo representan un ahorro, son amigables con el medio ambiente, no dependen de combustibles fósiles, mejoran la calidad de la red eléctrica y fortalecen la matriz energética.

3. Metodología

3.1 Materiales y métodos

Las series estadísticas utilizadas fueron tomadas de la base de datos de la página web del operador del mercado eléctrico en Colombia, XM, empresa filial de ISA (Interconexión Eléctrica S.A); y la página web del Banco de la República, en la cual se encuentran los principales indicadores económicos de Colombia. El periodo considerado comprende desde el primer trimestre del 2000 hasta el tercer trimestre del 2015.

Como variable explicada se seleccionó el Producto Interno Bruto (PIB), ya que es el instrumento más representativo para evaluar la contribución de la energía en la economía de Colombia.

Como variables explicativas se seleccionaron:

- El precio de la energía eléctrica en Colombia.
- La demanda de energía eléctrica en Colombia.

3.2 Modelo VAR

Los modelos de autorregresión vectorial (modelos VAR), desarrollados por Sims en la década de los 80, surgen como alternativa frente a los modelos tradicionales de ecuaciones simultáneas; los VAR se fundamentan en una estructura vectorial que supone una interdependencia entre las variables del

modelo y sus rezagos (Sims, 1980). Una de las principales contribuciones de los modelos VAR, en el análisis de series de tiempo, es que permiten analizar el impacto dinámico de una perturbación no anticipada en una de las variables del sistema sobre las demás. Este análisis se realiza a través de la estimación de funciones de impulso-respuesta y de descomposiciones de varianza (Morán, 2014).

El modelo VAR es muy útil cuando existe evidencia de simultaneidad entre un grupo de variables, y que sus relaciones se transmiten a lo largo de un determinado número de períodos (Novales, 2014). El modelo VAR se representa así:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_{t-1} + \beta_3 Y_{t-2} + \dots + \beta_n Y_{t-n} + \alpha X_t + \varepsilon_t$$

Donde:

Y_t = Es la variable dependiente

β_n = Es un vector de términos constantes

t = Es la cantidad de rezagos del modelo VAR

X_t = Es el vector de variables exógenas

ε_t = Es la componente aleatoria

4. Discusión y resultados

En esta sección se presenta el análisis de resultados al aplicar un modelo de autorregresión vectorial (VAR) con el fin de establecer la influencia del sector eléctrico colombiano en la producción de bienes y servicios del país (PIB); como variables independientes se tomaron la demanda y precio de la energía en Colombia. Cabe resaltar que la mayor parte de energía se genera a partir de fuentes hídricas (aproximadamente el 72% de la matriz energética), por lo tanto, se puede considerar que se analiza la influencia de las energías renovables sobre el índice económico PIB.

Inicialmente se transformaron las variables aplicando la función logaritmo a cada una de las series; posteriormente se aplicó el test de raíz unitaria con el fin

de establecer si seguían un proceso estacionario en media. Los resultados obtenidos, al aplicar el test de raíz unitaria de Dickey Fuller aumentado (ADF), se presentan en la Tabla 1; y los resultados, al aplicar el test de Kwiatkowsky, Phillips, Schmidt y Shin (KPSS), se presentan en la Tabla 2.

Tabla 1. Resultados del test Dickey Fuller aumentado (ADF)

Variables	Estadístico T	α (5%)	Probabilidad
Log Demanda	-6,6513144	-3,483969	0,000002
Log PIB	-8,4001888	-2,910019	0
Log Precio	-3,8134458	-3,483969	0,222787

Fuente: Elaboración propia.

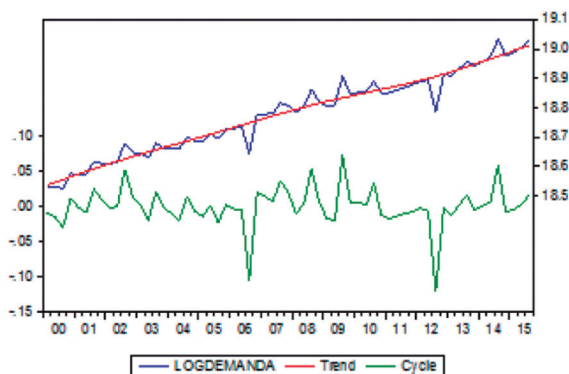
Tabla 2. Resultados test de Kwiatkowsky, Phillips, Schmidt y Shin (KPSS)

Variables	VC	LM
Log Demanda ($\beta \neq 0$)	0,146	0,0986266
Log PIB ($\beta \neq 0$)	0,146	0,0785221
Log Precio ($\beta \neq 0$)	0,146	0,0615628

Fuente: Elaboración propia.

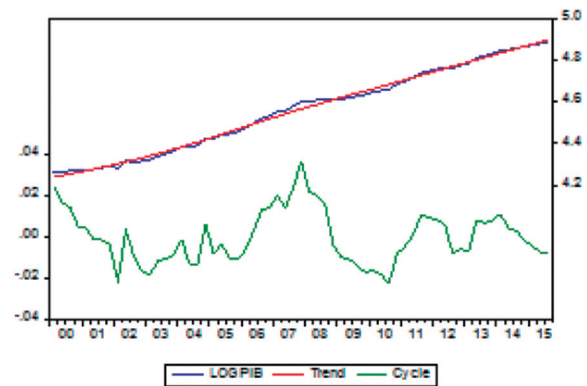
Los resultados muestran que las variables: demanda de energía, precio de energía y PIB siguen un proceso estacionario en tendencia para las pruebas ADF y KPSS. Posteriormente, se eliminó el componente de tendencial al método del filtro de Hodrick y Prescott. El resultado muestra que las series son estacionarias en media. Los resultados se presentan en las figuras 4,5 y 6.

Figura 4. Gráfico de serie demanda de energía con el filtro de Hodrick y Prescott.



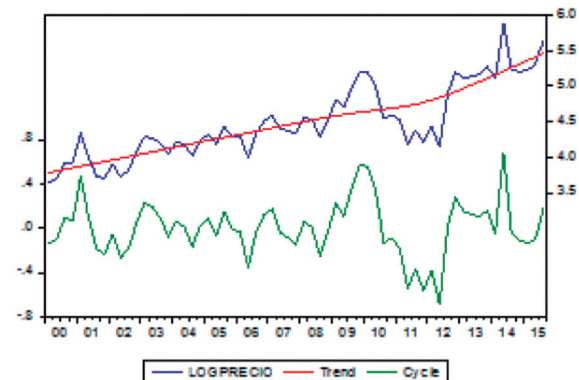
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Gráfico de serie PIB con el filtro de Hodrick y Prescott.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Gráfico de serie Precio de energía con el filtro de Hodrick y Prescott.



Fuente: Elaboración propia.

Inicialmente se analizó la relación entre la energía y la economía en Colombia, teniendo en cuenta las principales variables económicas y energéticas. La primer relación directa se presenta entre la demanda

de energía versus PIB, ya que, en momentos donde se presenta una apertura económica, el consumo de energía aumenta; de igual forma, ante una recesión, el consumo de energía disminuye. Cuantitativamente se calcularon estas relaciones a partir del análisis de correlación, encontrando que la correlación entre PIB versus demanda es del 96.97% y PIB versus precio de la energía es del 78.15%. Consecuentemente, se optó por realizar un modelo vectorial auto regresivo no estructural (VAR) con el fin de estimar ecuaciones simultáneas, mediante la elaboración de un sistema de ecuaciones y tomando todas las variables como exógenas; este proceso permite el análisis de la relación entre las series PIB-PIB, PIB-Demanda, PIB-Precio, Demanda-Demanda, Demanda-PIB, Demanda-Precio Precio-Precio, Precio-PIB, Precio-Demanda.

Inicialmente se realizó la diferenciación de las series, las cuales tienen una componente tendencial y un comportamiento estacional. Posteriormente, se

estimó el modelo teniendo en cuenta la estructura de los retardos necesarios para obtener una mejor especificación del modelo. Los resultados de las pruebas empleadas para conocer la estructura de los retardos indican que solo se necesita un retardo para estimar el modelo VAR; estos resultados se presentan en la Tabla 3.

- **LR:** sequential modified LR test statistic (each test at 5% level).
- **FPE:** Final prediction error.
- **AIC:** Akaike information criterion.
- **SC:** Schwarz information criterion.
- **HQ:** Hannan-Quinn information criterion.

Posteriormente se realizó la estimación de la causalidad de Granger, la cual se emplea para interpretar si se puede explicar la variable dependiente a través de las independientes con sus rezagos en el futuro. Los resultados de esta prueba se presentan en la Tabla 4.

Tabla 3. Resultados pruebas modelo VAR

Retardo	Log L	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-149,649	NA	0,0425	5,3561	5,4636	5,3979
1	-129,4017	37,6528	0,0287	4,9615	5,3916	5,1286
2	-122,9222	11,3676	0,0314	5,0499	5,8026	5,3424
3	-111,987	18,0334	0,0296	4,982	6,0573	5,3999
4	-104,2201	11,9909	0,0313	5,0253	6,4231	5,5685
5	-97,7874	9,2542	0,035	5,1153	6,8358	5,7839

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Resultados estimación de causalidad de Granger

Variable dependiente	Variable independiente	Chi-sq	df	Probabilidad
Precio	PIB	0,683	1	0,4085*
	Demanda	0,2243	1	0,6358*
	Total	1,2015	2	0,5484*
PIB	Precio	0,5672	1	0,4534*
	Demanda	0,1442	1	0,7041*
	Total	0,8037	2	0,669*
Demanda	Precio	0,2903	1	0,5899*
	PIB	0,6963	1	0,404*
	Total	6,497	2	0,0388

Fuente: elaboración propia.

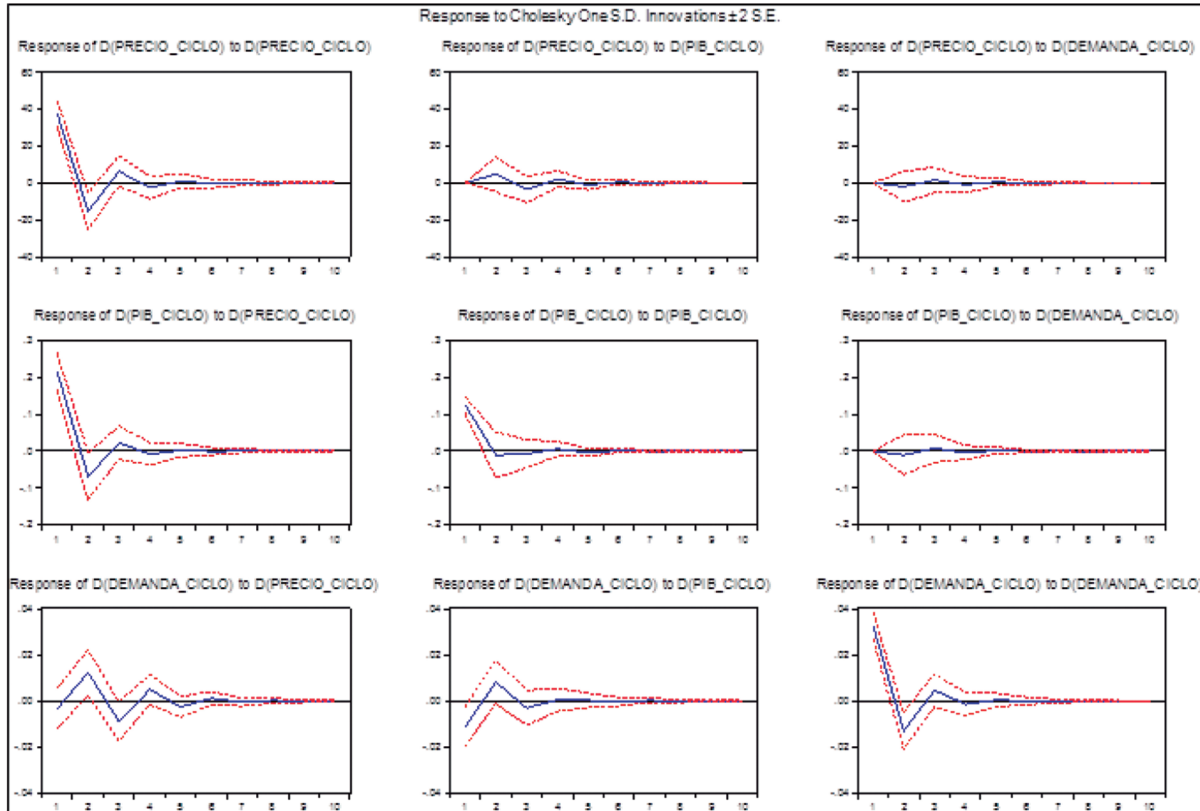
Los valores señalados con un asterisco (*) indican que se rechaza la hipótesis de existencia de causalidad, por la cual se concluye que no es posible explicar la variable dependiente sobre las independientes. Por el contrario, el valor señalado con negrilla para la demanda, en el cual su valor es menor al grado de significación $\alpha < 5\%$, indica que existe una causalidad no con las otras variables sino con sus rezagos. Se concluye que la serie demanda puede ser explicada hacia futuro por su propio pasado.

Finalmente se estimó el modelo, cuyo principal interés son las funciones impulso respuesta que permite analizar los impactos en cambios de una variable. Con esto se pretende analizar los efectos que en las variables endógenas provocan variaciones de las variables exógenas, teniendo en cuenta que en los modelos VAR sin estructura no existen estrictamente variables exógenas, las alteraciones se incluyen en algunas de las variables explicadas.

Las primeras gráficas corresponden a la incidencia de las principales variables con el precio de la energía; en este caso la variable que más incide es el PIB, en el cual, según el momento en que se encuentre la economía ya sea recesión o auge, no se afectará significativamente el precio de energía.

En la segunda fila se presentan las variables con mayor influencia en el PIB. Se resalta en el gráfico (PIB-Precio) que, cuando se dan cambios positivos en el precio de energía o un incremento, la producción de bienes y servicios del país responde de forma negativa, pero este no tendrá gran efecto hasta el segundo trimestre de haberse dado el cambio, consiguiente a esto tiende a estabilizarse el nivel del PIB después del cuarto trimestre. Esto se explica teniendo en cuenta que la energía es un bien que no cuenta con un sustituto y no se presentarán mayores cambios en su consumo por un aumento o disminución en los precios.

Figura 7. Funciones impulso respuesta Modelo VAR



Fuente: Elaboración propia.

Por último, en la tercera fila, se analizan las variables que inciden en la demanda de energía. Se observa que el precio de la energía tiene gran afectación sobre la demanda, ya que a una variación negativa en los precios, la serie demanda, responderá de forma positiva; de igual manera, los aumentos de precios en la energía hacen que la demanda responda de manera negativa. Además se concluye que la influencia del PIB sobre la demanda es directamente proporcional: ante cambios negativos en el PIB, la demanda responde de manera negativa. Una de las posibles razones de esta condición puede darse como consecuencia de la

desaceleración de la economía, en la cual disminuye la producción de bienes y servicios y, en consecuencia, se reduce la demanda de energía.

5. Conclusiones

La dinámica económica de Colombia puede ser explicada por variables del sector energético como la demanda y el precio, en virtud de su alta correlación. Además, los resultados permiten concluir que en los

momentos de mayor crecimiento en la producción del país se han presentado los valores más altos para la variable demanda de energía.

Gracias al gran potencial en recursos naturales, presentes en el territorio colombiano, las energías renovables son una alternativa para aumentar la capacidad de generación del sistema eléctrico. Actualmente la empresa Celsia está construyendo la granja solar Yumbo en la ciudad de Cali; con estos proyectos en energías renovables se busca aprovechar el potencial solar de la región y se espera que genere 16GW de energía. Sin embargo, Colombia debe diversificar su matriz energética con más proyectos en los que se aproveche el potencial eólico y solar de la región; para tal fin, es necesario que la regulación impulse el desarrollo de este tipo de proyectos energéticos. Al estimular los proyectos en generación de energía con fuentes renovables, Colombia sigue la dinámica mundial donde los entes gubernamentales y la comunidad científica concluyen que la solución para disminuir las emisiones de CO₂ y preservar el medio ambiente se encuentra en las energías alternativas.

Referencias

- Barreto, C., & Campo, J. (2012). Relación a largo plazo entre consumo de energía y PIB en América Latina: Una evaluación empírica con datos panel. *ecos de Economía*, 73-89.
- C. A. H.; Marinha, D.; Alarcon, O. E. (2013). "The Brazilian energy matrix. From a materials science and engineering perspective", en *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 19 (2013), p. 678-691.
- Campo, J., & Sarmiento, V. (06 de 2011). SSRN. Obtenido de SSRN:
- Castillo, York, Castrillón Gutiérrez, Melisa, Vanegas-Chamorro, Marley, Valencia, Guillermo, & Villicaña, Eunice. (2015). Rol de las Fuentes No Convencionales de Energía en el sector eléctrico colombiano. *Prospectiva*, 13(1), 39-51.
- Castro, J. (2011). *Perspectivas de la demanda energética global*. Petrotecnia.
- CEPAL. (2013). *Energía: Una visión sobre los retos y oportunidades en América Latina y el Caribe*. Repositorio CEPAL.
- Coviello, M., Gollán, J., & Pérez, M. (2012). *Las alianzas público-privadas en energías renovables en América Latina y el Caribe*. Repositorio digital Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Freier, A. (2014). *Oportunidades y desafíos para la integración energética entre Argentina y Brasil: el caso de las energías renovables*. Breviario en RRH.
- Howe, C., Boyer, D., & Barrera, E. (2015). *Los márgenes del Estado al viento: autonomía y desarrollo de energías renovables en el sur de México*. *The Journal of Latin American and Caribbean Anthropology*.
- Jacobs, A., Crawford, D., Murdoch, T., & Lethbridge, C. (31 de 08 de 2013). USAID, *From The American People*. Obtenido de USAID, *From The American People* :
- Límpia, E. (2017). *Colombia construye su planta más grande de energía solar moderna*. *Energía Límpia*.
- Morán Chiquito, D. M. (2014). *Determinantes de la inflación en Ecuador*. *Economía y Sociedad*.
- Mourón, F., & Onuki, J. (2015). *¿Brasil es un líder en América del sur? El papel brasileiro a través del concepto de liderazgo situacional*. *Estudios internacionales*.
- Novales, A. (2014). *Modelos Vectoriales autoregresivos (VAR)*.
- Orozco, R. h. (2008). *Desarrollo del proyecto eólico en la región del Istmo de Tehuantepec*. Redalyc.
- Pelfini, A., Fulget, G., & Beling, A. (2012). *La energía de los emergentes: innovación y cooperación para la promoción de energías renovables en el Sur Global*. Buenos Aires: FLACSO.
- Pinilla, A., Rodríguez, & Trujillo, R. (2009). *Performance evaluation of jepirachi wind park*. *Renewable energy journal*.

- Pompemayer, M. L. (2009). Desafios e perspectivas para a inovação tecnológica no setor de energia eléctrica. *Revista de pesquisa e desenvolvimento da ANEEL P&D*, 11.
- Posso, F., & Sánchez, J. P. (2014). El desarrollo del sistema energético solar-hidrógeno en américa latina: potencialidades, oportunidades y barreras. *Maskana*.
- Pottmeier, D.; Melo, C. R.; Sartor, M. N.; Kuester, S.; Amadio, T. M.; Fernandes, Ríos-Ocampo, Juan Pablo, & Vélez-Gómez, Luis Diego. (2015). Efectos fiscales de los asentamientos hidroeléctricos: el caso de la cuenca de los ríos Negro y Nare en Colombia. *Semestre Económico*, 18(38), 137-160.
- Rodriguez, H. (2009). Development of Solar Energy in Colombia and its Prospects. *Revista de Ingeniería*. Universidad de los Andes.
- Sims, C. (1980). Macroeconomics and Reality. *Econometrica*, 48(1), 1-48.
- TAYLOR, R. (2006). "Falling water, Rising power", en *Our Planet*, UNEP Vol. 16 (4), p. 18-19.
- UPME. (20 de 4 de 2017). Unidad de planeación minero-energética. Obtenido de Unidad de planeación minero-energética:
- UPME. (18 de 4 de 2017). UPME. Obtenido de UPME:
- UPME. (11 de 05 de 2017). UPME. Obtenido de UPME: